



TITLE:

# Camera Calibration Based on Mirror Reflections( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Takahashi, Kosuke

---

CITATION:

Takahashi, Kosuke. Camera Calibration Based on Mirror Reflections. 京都大学, 2018, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21206>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-09-08に公開

( 続紙 1 )

京都大学	博士（情報学）	氏名	高橋 康輔
論文題目	Camera Calibration Based on Mirror Reflections (鏡面反射を利用したカメラキャリブレーション)		
(論文内容の要旨)			
<p>カメラキャリブレーションとは、カメラによって3次元シーンが2次元画像として撮像される過程をモデル化してそのモデルパラメータを推定するプロセスであり、レンズの焦点距離や主点、歪み係数といったカメラ内部のパラメータと、カメラの相対的な位置・姿勢といったカメラ外部のパラメータを推定する問題として、それぞれ内部キャリブレーション、外部キャリブレーションと呼ばれる。これは2次元画像を入力として3次元シーンの理解を試みるコンピュータビジョン研究において、3次元形状・運動計測、視線計測、拡張現実感など数多くの分野で最も基本となる技術である一方、従来のカメラキャリブレーションにおいては、形状が既知である参照物体を直接観測することを前提としており、このような前提が成り立たない計測環境でのキャリブレーション手法は確立されていない。</p> <p>本論文は鏡を介してシーンを観測することによって、その直接像と鏡像の間に成り立つ制約条件を利用したキャリブレーションアルゴリズムをまとめたものであり、6章から構成される。</p> <p>第1章では、まず現在のカメラキャリブレーションを概観し、その問題点として①チェスパターンのように特徴点の配置が既知である参照物体とその撮影像との間の投影関係を用いる必要があること、②その参照物体を直接視野内に収めて観測する必要があること、を指摘している。そしてこれらの問題点を解決するアプローチとして、鏡を介してシーンを撮影し、直接像だけではなく鏡像を用いることによる新たなアルゴリズムを提案している。</p> <p>第2章では、鏡による反射を含めた観測過程の計算モデルを導出するとともに、従来のカメラキャリブレーション法に対する本研究の位置づけを述べている。特に従来の内部キャリブレーションでは形状が既知の参照物体が必要である一方で、提案手法ではそのような参照物体を必要としないこと、また従来の鏡を用いた外部キャリブレーションに比べてより少ない入力を用いながらより高い精度の外部キャリブレーションを実現可能であることを指摘している。</p> <p>第3章では、複合鏡によって生成されるシーンの高次反射像には、それらの透視投影カメラによる投影像間に満たされるべき幾何学的な制約条件が存在することをまず指摘している。続いてこの制約を用いることによって、撮影画像を入力としてどの像が直接像でありどの像が反射像であるかを同定することが可能であることを示した。また得られた直接像と反射像から鏡の位置・姿勢を推定する線形解法を導出するとともに、複合鏡によって生成される高次鏡映像をあたかもパラメトリックな参照物体と見なすことが可能であり、その形状を規定する複合鏡の位置姿勢推定とカメラの内部キャリブレーションが同時に実現可能であることを示している。</p> <p>第4章では、複数枚の平面鏡の交線と、それらの平面鏡による鏡像との間に成り立つ直交制約を利用することによって、一般に4通りの解の不定性が存在するPerspective-3-Pointsと呼ばれる3次元点3点の投影像からカメラ位置姿勢を推定する問題において、鏡像という制約の下では一意に解を推定可能であることを示している。またこの直交制約に基づいて、カメラが参照物体を直接観測できない状況であっても、参照物体の鏡像を観測することによってカメラの外部キャリブレーションを実現する線形解法を導出している。これに加えて提案手法では3つの3次元点を3通りの相異なる姿勢にある鏡を介して撮影する必要があること、そしてこれがこの問題の現時点における最小構成となっていることを指摘している。</p> <p>第5章では、第4章における平面鏡を介したキャリブレーションを、球面鏡を介し</p>			

たキャリブレーションへと拡張しており，特にディスプレイに表示されたコンテンツを観察している人を対象としたときに，その人物の眼球画像を取得することができれば，瞳に写りこむコンテンツの像を用いることで眼球とディスプレイの位置姿勢を推定できることを示している．

第6章では，本論文の目的と提案手法のまとめを行うとともに，今後の課題と応用について議論をしている．

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し，合わせて，3,000字を標準とすること．

論文内容の要旨を英語で記入する場合は，400～1,100 wordsで作成し

審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること．

(論文審査の結果の要旨)

カメラキャリブレーションとは、カメラによって3次元シーンが2次元画像として撮像される過程をモデル化してそのモデルパラメータを推定するプロセスであり、レンズの焦点距離や主点、歪み係数といったカメラ内部のパラメータと、カメラの相対的な位置・姿勢といったカメラ外部のパラメータを推定する問題として、それぞれ内部キャリブレーション、外部キャリブレーションと呼ばれる。これは2次元画像を入力として3次元シーンの理解を試みるコンピュータビジョン研究において、3次元形状・運動計測、視線計測、拡張現実感など数多くの分野で最も基本となる技術である一方、従来のカメラキャリブレーションにおいては、形状が既知である参照物体を直接観測することを前提としており、このような前提が成り立たない計測環境でのキャリブレーション手法は確立されていない。

本論文は鏡を介してシーンを観測することによって、その直接像と鏡像の間に成り立つ制約条件を利用したキャリブレーションアルゴリズムをまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

(1) 複合鏡による鏡像が満たす幾何学的制約条件を導出するとともに、この制約を利用することで撮影画像中の実像・鏡像を同定するアルゴリズムを考案した。

(2) 複合鏡による高次反射像の透視投影像を入力として、複合鏡を構成する鏡の位置・姿勢を線形に推定するアルゴリズムを考案するとともに、これに基づいて複合鏡による反射像をパラメトリックな参照物体と見なし、その形状を規定するパラメータとしての鏡位置姿勢と、焦点距離・主点・レンズ歪み係数といったカメラの内部パラメータの同時推定を実現するアルゴリズムを考案した。

(4) 複数の平面鏡の交線と、その平面鏡による鏡像との間に成り立つ直交制約を利用することによって、4通りの解の不定性があることで知られるPerspective-3-Pointsと呼ばれる問題において、一意な解を得る手法を考案した。

(5) 複数の平面鏡を介して視野外の参照物体を撮影することによって、カメラの位置・姿勢を線形に求めるアルゴリズムを考案した。

(6) 球面鏡を介して撮影された鏡像を入力として、視野外の参照物体に対するカメラおよび球面鏡の位置姿勢を推定するアルゴリズムを考案し、人物の眼球に写りこんだディスプレイ画像を用いた眼球位置・姿勢のキャリブレーションが可能であることを示した。

以上本論文は、実像とその鏡像の間に成り立つ幾何学的制約条件を利用した新たなカメラキャリブレーション法として、①複合鏡を用いた内部キャリブレーション、②平面鏡を用いた視野外の参照物体に対する外部キャリブレーション、③球面鏡を用いた視野外の参照物体に対する外部キャリブレーションを考案し、実画像を用いた実験によってその有効性を実証したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成30年2月15日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日: 年 月 日以降